

PETG Materyali Kullanılarak FDM Yöntemiyle Eklemeli İmalat İşleminde YüzeY Pürüzlülüğünün Parametrik Optimizasyonu

Ömer SEÇGİN^{1*}, Hüseyin Kahraman¹

¹Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Türkiye

*(omersecgin@subu.edu.tr)

Özet – Bu çalışmada, Eriyik Yığıma Modellemesi (FDM) eklemeli imalat yöntemi kullanılarak PETG materyalinin yüzeY pürüzlülüğünün incelenmesi üzerine odaklanılmıştır. Çalışmada, nozul sıcaklığı, katman kalınlığı ve dolgu oranı yazdırma parametreleri olarak ele alınmıştır. Taguchi metoduyla deney tasarımı oluşturulmuş ve üretilen parçaların yüzeY pürüzlülükleri ölçülerek parametre optimizasyonu yapılmıştır. Ayrıca varyans analizi de yapılmıştır. PETG ile üretilen parçaların yüzeY pürüzlülüğü için en önemli parametrenin katman kalınlığı olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, nozul sıcaklığı ve dolgu oranının yüzeY pürüzlülüğ üzerinde önemli bir etkisinin bulunmadığı belirlenmiştir. Optimum parametre seviyeleri 255°C nozul sıcaklığı, 0,1 mm katman kalınlığı ve %15 dolgu oranıdır.

Anahtar Kelimeler – Eklemeli İmalat, PETG, Taguchi, Varyans Analizi

I. GİRİŞ

Eklemeli imalat yöntemi, prototipleme ve küçük adetli üretim için giderek popüler hale gelmektedir. Eriyik Yığıma Modellemesi (Fused Deposition Modeling - FDM), eklemeli imalat teknolojileri arasında en yaygın kullanılanlardan biridir. Bu teknolojide, termoplastik filamentler bir nozul tarafından eritilir ve katman katman bir model oluşturmak için bir altlık üzerine eklenir [1]. Bu yöntem, küçük ölçekli üretimler için ekonomik bir seçenek olabilir, ancak yüzeY pürüzlülüğü gibi birçok faktör, sonuçların kalitesini etkileyebilir.

PETG malzemesi, eklemeli imalatta giderek daha popüler hale gelen bir malzemedir. Bu malzeme, diğer termoplastiklerle karşılaştırıldığında daha yüksek darbe dayanımı, yüksek ısıya dayanıklılık ve düşük nem absorpsiyonu gibi avantajlara sahiptir [2], [3]. Ancak, PETG malzemesinin FDM eklemeli imalatında yüzeY pürüzlülüğü hala geliştirilmesi gereken bir konudur.

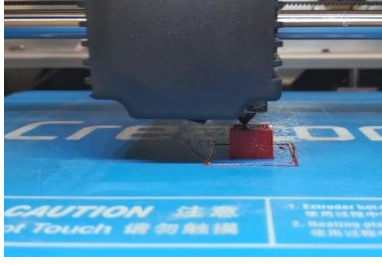
Eklemeli imalat ile ilgili literatür incelendiğinde çalışmaların genellikle PLA [4]–[6], ABS [7]–[9] malzemeleri ile yapıldığı görülmektedir. Yazdırma parametreleri olarak katman kalınlığı, baskı hızı, nozul sıcaklığı vb kullanılmaktadır. Bu

parametrelerle üretilen parçaların mekanik özellikleri incelenmektedir [10]–[12].

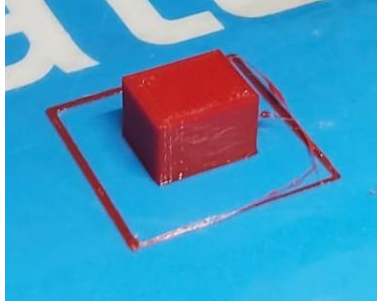
Bu çalışmanın amacı, PETG malzemesinin FDM eklemeli imalatındaki parametrelerin yüzeY pürüzlülüğüne etkilerini incelemektir. Bu amaçla, farklı yazdırma parametreleri kullanılarak üretilen örneklerin yüzeY pürüzlülüğü ölçülmüş ve karşılaştırılmıştır. Ayrıca varyans analizi yapılarak parametrelerin yüzeY pürüzlülüğü üzerine etkileri incelenmiştir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

FDM yöntemi eklemeli imalatta yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir. Bu yöntemde makara halindeki filament belirli bir sıcaklığa getirilerek eritilir. Erimiş malzeme nozuldan belirli bir hızda çıkarak parça üretilmeye başlanır Şekil 1. Bu çalışma kapsamında üretilen parçalardan biri Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 1. FDM yöntemi ile parça yazdırma



Şekil 2. Çalışma kapsamında üretilmiş bir parça

Çalışma kapsamında Nozul Sıcaklığı (235°C, 245°C, 255°C), Katman kalınlığı (0,1mm, 0,2mm, 0,3mm) ve Dolgu oranı (%15, %50, %75) parametre olarak ele alınmıştır. Taguchi yöntemi ile mühendislikte başarılı optimizasyonlar yapılabilmektedir [13], [14]. L9 ortogonal dizini kullanılarak Taguchi yöntemi ile deney tasarımı yapılmıştır (Tablo 1). Daha sonra Sinyal Gürültü analizi ile parametre optimizasyonu yapılmıştır. Parçaların yüzey pürüzlükleri MAHR PS2 yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı ile ölçülmüştür.

III. BULGULAR

Çalışma kapsamında yapılan deneyler sonucunda üretilen tüm parçalar üçer kere ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1 Parametreler ve yüzey pürüzlülükleri

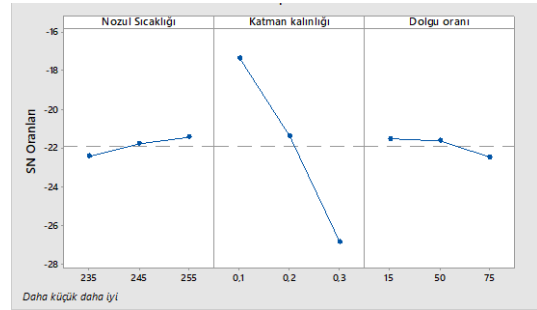
Deney No	Parametreler			Ra (µm)
	Nozul Sıcaklığı (°C)	Katman kalınlığı (mm)	Dolgu oranı (%)	
1	235	0,1	15	7,130
2	235	0,2	50	12,333
3	235	0,3	75	26,413
4	245	0,1	50	7,440
5	245	0,2	75	11,703
6	245	0,3	15	21,257
7	255	0,1	75	7,636
8	255	0,2	15	11,233
9	255	0,3	50	19,170

Çalışma kapsamında yapılan varyans analizi sonuçları Tablo 2’de verilmiştir. Tabloya göre katman kalınlığının “p” değeri 0,01’dir. Bu da katman kalınlığının yüzey pürüzlülüğü üzerinde çok etkili olduğunu göstermektedir. Diğer parametrelerin “p” değerleri 0,4 civarındadır. Bu değer 0,05’den çok büyüktür. Bu da bu iki parametrenin yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını göstermektedir.

Tablo 2 Varyans analizi tablosu

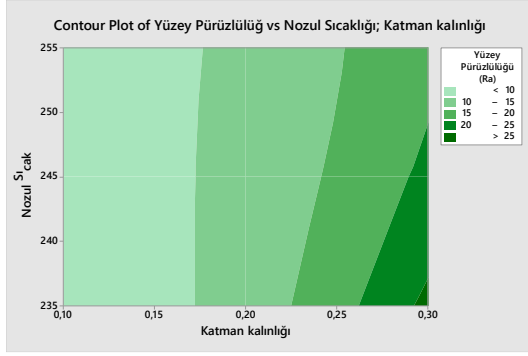
Kaynak	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Nozul Sıcaklığı	2	1,549	1,549	0,7745	1,13	0,470
Katman kalınlığı	2	136,336	136,336	68,1679	99,34	0,010
Dolgu oranı	2	1,629	1,629	0,8145	1,19	0,457
Hata	2	1,372	1,372	0,6862		
Toplam	8	140,886				

Çalışma kapsamında yapılan sinyal gürültü analizine ait grafik Şekil 3’te verilmiştir. Bu şekil incelendiğinde yüzey pürüzlülüğünü optimize eden parametre seviyelerinin Nozul Sıcaklığı (255°C), Katman kalınlığı (0,1mm) ve Dolgu oranı (%15) olduğu görülmektedir.

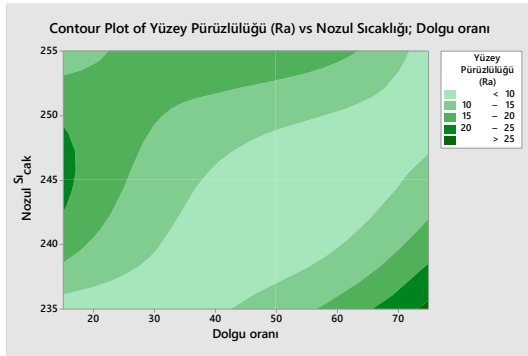


Şekil 3. Sinyal-Gürültü analizi grafiği

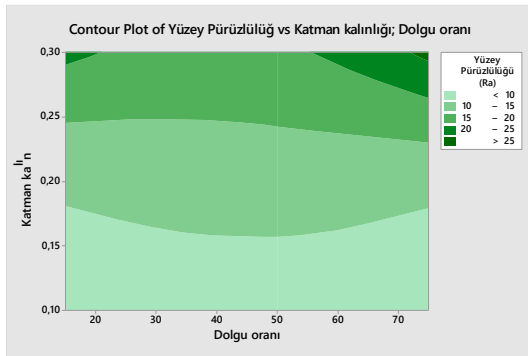
Parametrelerin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini net olarak görebilmek için kontür grafikleri oluşturulmuştur. Şekil 4’te Katman kalınlığı-Nozul sıcaklığı kontür grafiği, Şekil 5’te Dolgu oranı-Nozul sıcaklığı kontür grafiği Şekil 6’da ise Katman kalınlığı-Dolgu oranı kontür grafiği verilmiştir. Bu grafiklerden, katman kalınlığı artışının yüzey pürüzlülüğünü önemli ölçüde artırdığı net olarak görülebilmektedir. Diğer iki parametrenin ise yüzey pürüzlülüğü üzerinde anlamlı bir etkisi gözükmemektedir.



Şekil 4. Katman kalınlığı-Nozul sıcaklığı kontür grafiği



Şekil 5. Dolgu oranı-Nozul sıcaklığı kontür grafiği



Şekil 6. Katman kalınlığı-Dolgu oranı kontür grafiği

IV. SONUÇLAR

Bu çalışmada FDM metodu ile PETG materyali kullanılarak çeşitli parçalar üretilmiştir. Bu parçaların yüzey pürüzlükleri ölçülerek parametrelerin yüzey pürüzlülüğüne etkileri incelenmiştir. Çalışma sonucunda yüzey pürüzlülüğüne etki eden en önemli parametrenin katman kalınlığı olduğu belirlenmiştir. Optimum parametre seviyelerinin ise: Nozul Sıcaklığı (255°C), Katman kalınlığı (0,1mm) ve Dolgu oranı (% 15) olduğu belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Ö. Seçgin, E. Arda, E. Ata, and H. A. Çelik, "Dimensional Optimization of Additive Manufacturing

- Process," J. Chinese Soc. Mech. Eng. Trans. Chinese Inst. Eng. Ser. C/Chung-Kuo Chi Hsueh K. Ch'eng Hsuebo Pao, vol. 43, no. 1, pp. 75–78, 2022.
- [2] D. Moreno Nieto, V. Casal López, and S. I. Molina, "Large-format polymeric pellet-based additive manufacturing for the naval industry," *Addit. Manuf.*, vol. 23, no. July, pp. 79–85, 2018, doi: 10.1016/j.addma.2018.07.012.
- [3] U. Khaleeq, E. Boesch, A. Siadat, M. Rivette, and A. A. Baqai, "Impact of fused deposition modeling (FDM) process parameters on strength of built parts using Taguchi ' s design of experiments," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 101, pp. 1215–1226, 2019, doi: 10.1007/s00170-018-3014-6.
- [4] V. Taşdemir, "Investigation of Dimensional Integrity and Surface Quality of Different Thin-Walled Geometric Parts Produced via Fused Deposition Modeling 3D Printing," *J. Mater. Eng. Perform.*, vol. 30, no. May, pp. 3381–3387, 2021, doi: 10.1007/s11665-021-05809-x.
- [5] S. Ganeshkumar et al., "Investigation of Tensile Properties of Different Infill Pattern Structures of 3D-Printed PLA Polymers: Analysis and Validation Using Finite Element Analysis in ANSYS," *Materials (Basel)*, vol. 15, no. 15, 2022, doi: 10.3390/ma1515142.
- [6] S. R. Rajpurohit and H. K. Dave, "Analysis of tensile strength of a fused filament fabricated PLA part using an open-source 3D printer," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, pp. 1525–1536, 2019, doi: 10.1007/s00170-018-3047-x.
- [7] P. Hylla and J. Domin, "Impact of additive manufacturing temperature on strength of 3D printouts made of PLA and ABS," *Min. Mach.*, vol. 3, no. 3, pp. 43–52, 2020, doi: 10.32056/KOMAG2020.3.5.
- [8] S. Brischetto, C. Ferro, P. Maggiore, and R. Torre, "Compression Tests of ABS Specimens for UAV Components Produced via the FDM Technique," *Technologies*, vol. 5, no. 2, p. 20, 2017, doi: 10.3390/technologies5020020.
- [9] R. C. Parpala, D. Popescu, and C. Pupaza, "Infill parameters influence over the natural frequencies of ABS specimens obtained by extrusion-based 3D printing," *Rapid Prototyp. J.*, vol. 27, no. 6, pp. 1273–1285, 2021, doi: 10.1108/RPJ-05-2020-0110.
- [10] A. S. Ramirez, M. Enrique, I. Marcos, F. B. Haro, R. D. Amato, and R. Sant, "Application of FDM technology to reduce aerodynamic drag," *Rapid Prototyp. J.*, vol. 4, no. February, pp. 781–791, 2019, doi: 10.1108/RPJ-09-2018-0251.
- [11] M. Ö. Öteyaka, K. Aybar, and H. C. Öteyaka, "Effect of Infill Ratio on the Tensile and Flexural Properties of Unreinforced and Carbon Fiber-Reinforced Polylactic Acid Manufactured by Fused Deposition Modeling," *J. Mater. Eng. Perform.*, vol. 30, no. 7, pp. 5203–5215, 2021, doi: 10.1007/s11665-021-05694-4.
- [12] M. Kalender, Y. Bozkurt, S. Ersoy, and S. Salman, "Product Development with Additive Manufacturing and 3D Printer Technology in Aerospace Industry," *J. Aeronaut. Sp. Technol.*, vol. 13, no. 1 SE-Articles, pp. 129–138, 2020, [Online]. Available: <http://www.jast.msu.edu.tr/index.php/JAST/article/view/400>.

- [13] Ö. Seçgin and M. Z. Sogut, "Surface roughness optimization in milling operation for aluminum alloy (Al 6061-T6) in aviation manufacturing elements," *Aircr. Eng. Aerosp. Technol.*, vol. 93, no. 8, pp. 1367–1374, 2021, doi: 10.1108/AEAT-05-2021-0146.
- [14] N. Şen, V. Taşdemir, and Ö. Seçgin, "Investigation of formability of HC380LA material via the TPIF-RL incremental forming method," *Ironmak. Steelmak.*, vol. 47, no. 10, pp. 1199–1205, 2020, doi: 10.1080/03019233.2019.1711351.